

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2002年 9月25日

出願番号
Application Number:

特願2002-279066

[ST.10/C]:

[JP2002-279066]

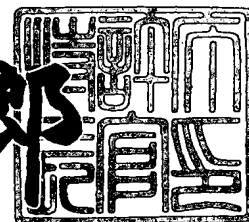
出願人
Applicant(s):

セイコーエプソン株式会社

2003年 6月25日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3049878

【書類名】 特許願

【整理番号】 EP-0402501

【提出日】 平成14年 9月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明者】

【住所又は居所】 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

【氏名】 金子 剛

【特許出願人】

【識別番号】 000002369

【氏名又は名称】 セイコーエプソン株式会社

【代理人】

【識別番号】 100090479

【弁理士】

【氏名又は名称】 井上 一

【電話番号】 03-5397-0891

【選任した代理人】

【識別番号】 100090387

【弁理士】

【氏名又は名称】 布施 行夫

【電話番号】 03-5397-0891

【選任した代理人】

【識別番号】 100090398

【弁理士】

【氏名又は名称】 大淵 美千栄

【電話番号】 03-5397-0891

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 039491

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9402500

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 面発光型半導体レーザおよびその製造方法、光モジュール、光伝達装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に形成された共振器を含み、該共振器の上面に設けられた出射面から該基板と垂直方向にレーザ光を出射できる面発光型半導体レーザであって、

前記共振器は、前記基板の上方に設けられた第 1 ミラーと、活性層と、該活性層を挟んで該第 1 ミラーに対向するように設けられた第 2 ミラーとを含み、

前記出射面の上に反射率調整層が形成され、

前記レーザ光の波長を λ としたとき、

前記第 2 ミラーは、光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ (m_1 は自然数) である層を含み

、
前記反射率調整層の光学的膜厚が $(2m_2 - 1) \lambda / 4$ (m_2 は自然数) である、面発光型半導体レーザ。

【請求項 2】 請求項 1 において、

前記反射率調整層と、前記第 2 ミラーにおいて該反射率調整層の下方領域とかなる領域を第 1 領域とし、前記第 2 ミラーにおいて前記第 1 領域以外の領域を第 2 領域としたとき、

前記第 1 領域における前記レーザ光の反射率は、前記第 2 領域における前記レーザ光の反射率よりも大きい、面発光型半導体レーザ。

【請求項 3】 基板上に形成された共振器を含み、該共振器の上面に設けられた出射面から該基板と垂直方向にレーザ光を出射できる面発光型半導体レーザであって、

前記共振器に電流を注入するための第 1 電極および第 2 電極を含み、

前記第 1 電極は、少なくとも一部が前記共振器の上面に形成され、かつ、該共振器の上面に開口部を有し、

前記開口部内に前記出射面が設けられ、

前記出射面の上に反射率調整層が形成されている、面発光型半導体レーザー。

【請求項 4】 請求項 3 において、

前記共振器は、前記基板の上方に設けられた第 1 ミラーと、活性層と、該活性層を挟んで該第 1 ミラーに対向するように設けられた第 2 ミラーとを含み、

前記反射率調整層と、前記第 2 ミラーにおいて該反射率調整層の下方領域とかなる領域を第 1 領域とし、前記第 2 ミラーにおいて前記第 1 領域以外の領域を第 2 領域としたとき、

前記第 1 領域における前記レーザー光の反射率は、前記第 2 領域における前記レーザー光の反射率よりも大きい、面発光型半導体レーザー。

【請求項 5】 請求項 4 において、

前記レーザー光の波長を λ としたとき、

前記第 2 ミラーは、光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ (m_1 は自然数) である層を含み

前記反射率調整層の光学的膜厚が $(2m_2 - 1) \lambda / 4$ (m_2 は自然数) である、面発光型半導体レーザー。

【請求項 6】 請求項 1 または 5 において、

前記光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ である層が、前記第 2 ミラーの最上層を構成する、面発光型半導体レーザー。

【請求項 7】 請求項 1 ないし 6 のいずれかにおいて、

前記反射率調整層は、前記レーザー光に対して光学的に透明である、面発光型半導体レーザー。

【請求項 8】 請求項 1 ないし 7 のいずれかにおいて、

前記反射率調整層の平面形状が円形である、面発光型半導体レーザー。

【請求項 9】 請求項 8 において、

前記反射率調整層の直径が $6 \mu m$ 以下である、面発光型半導体レーザー。

【請求項 10】 請求項 8 または 9 において、

前記出射面は円形であり、

前記反射率調整層は、前記出射面の中心軸と同軸上に設けられている、面発光型半導体レーザー。

【請求項 1 1】 請求項 1 ないし 1 0 のいずれかにおいて、
前記反射率調整層は、熱硬化型樹脂または紫外線硬化型樹脂からなる、面発光型半導体レーザ。

【請求項 1 2】 請求項 1 ないし 1 1 のいずれかにおいて、
前記反射率調整層の膜厚が一定でない、面発光型半導体レーザ。

【請求項 1 3】 請求項 1 2 において、
前記反射率調整層の膜厚は、前記第 1 電極との接触面近傍で大きくなっている、面発光型半導体レーザ。

【請求項 1 4】 請求項 1、または 4 ないし 1 3 のいずれかにおいて、
前記第 2 ミラーには、さらに、同心円状の平面形状を有する電流狭窄層が形成され、
前記電流狭窄層の内径円の面積は、前記反射率調整層の断面積より大きい、面発光型半導体レーザ。

【請求項 1 5】 請求項 1 ないし 1 4 のいずれかにおいて、
前記共振器は、少なくとも一部に柱状部を含む、面発光型半導体レーザ。

【請求項 1 6】 請求項 1 ないし 1 5 のいずれかに記載の面発光型半導体レーザと、光導波路とを含む、光モジュール。

【請求項 1 7】 請求項 1 6 に記載の光モジュールを含む、光伝達装置。

【請求項 1 8】 基板上に形成された共振器を含み、該共振器の上面に設けられた出射面から該基板と垂直方向にレーザ光を出射できる面発光型半導体レーザの製造方法であって、

(a) 前記基板上に共振器を形成し、

前記共振器には、前記基板の上方に設けられた第 1 ミラーと、活性層と、該活性層を挟んで該第 1 ミラーに対向するように設けられた第 2 ミラーと、を形成し

、
前記第 2 ミラーには、かつ光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ (m_1 は自然数) である層を形成し、

(b) 前記出射面の上に、光学的膜厚が $(2m_2 - 1) \lambda / 4$ (m_2 は自然数) である反射率調整層を形成すること、を含む、面発光型半導体レーザの製造方

法。

【請求項 1 9】 請求項 1 8 において、

前記（b）において、前記出射面に対して液滴をインクジェット法にて吐出して前記反射率調整層の前駆体を形成した後、該前駆体を硬化させることにより、前記出射面の上に前記反射率調整層を形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

【請求項 2 0】 基板上に形成された共振器を含み、該共振器の上面に設けられた出射面から該基板と垂直方向にレーザ光を出射できる面発光型半導体レーザの製造方法であって、

（a）前記基板上に共振器を形成し、

（b）前記共振器に電流を注入するための第 1 電極および第 2 電極を形成し、その際、前記第 1 電極は、少なくとも一部が前記共振器の上面に形成され、かつ、該共振器の上面に開口部を設けるように形成され、

（c）前記出射面の上に反射率調整層を形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

【請求項 2 1】 請求項 2 0 において、

前記（c）において、前記出射面に対して液滴をインクジェット法にて吐出して前記反射率調整層の前駆体を形成した後、該前駆体を硬化させることにより、前記出射面の上に前記反射率調整層を形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

【請求項 2 2】 請求項 1 9 または 2 1 において、

前記前駆体は、エネルギー線を付与することによって硬化する材料からなる、面発光型半導体レーザの製造方法。

【請求項 2 3】 請求項 2 2 において、

前記材料は、熱硬化型樹脂または紫外線硬化型樹脂である、面発光型半導体レーザの製造方法。

【請求項 2 4】 請求項 2 0 ないし 2 3 のいずれかにおいて、

前記（a）において、前記共振器を、前記基板の上方に設けられた第 1 ミラーと、活性層と、該活性層を挟んで該第 1 ミラーに対向するように設けられた第 2

ミラーとを含むように形成し、

前記第 2 ミラーに、光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ (m_1 は自然数) である層を形成し、

前記 (c) において、前記反射率調整層の光学的膜厚が $(2 m_2 - 1) \lambda / 4$ (m_2 は自然数) となるように形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

【請求項 25】 請求項 18 または 24 において、

前記光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ である層を、前記第 2 ミラーの最上層に形成する、面発光型半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、面発光型半導体レーザおよびその製造方法、ならびに該面発光型半導体レーザを含む光モジュールおよび光伝達装置に関する。

【0002】

【背景技術】

面発光型半導体レーザは、光通信や光演算、および各種センサの光源として大いに期待されている。光通信においては、現在、マルチモードファイバを用いた短距離の光通信用光源として面発光型半導体レーザを適用することが検討されており、将来は、シングルモードファイバを用いた長距離通信用の光源としても面発光型半導体レーザを適用することが期待されている。

【0003】

シングルモードファイバに適した光源の性質として、横モードがシングルモード (0 次基本モード) であることがあげられる。したがって、シングルモードファイバを用いた光源として面発光型半導体レーザを適用する場合、安定したシングルモードでの発振が要求される。

【0004】

面発光型半導体レーザにてシングルモードの光を得る方法の一つとして、選択酸化によって電流狭窄層を形成し、該電流狭窄層によって電流狭窄と同時に光閉じ込めを行なう方法が知られている。例えば、AlGaAs 系の層から形成され

た面発光型半導体レーザの場合、に A l の組成が高い層をあらかじめ多層膜ミラー中に形成しておき、この層を側面から酸化することによって、電流狭窄層を形成することができる。この電流狭窄層は、中央に残存する A l の組成が高い領域（アパーチャ部）と、その周辺に形成された酸化アルミニウムを含む領域（酸化狭窄部）とからなる。しかしながら、この方法では、アパーチャ部と、酸化狭窄部との屈折率の差が大きすぎるため、光閉じ込め効果が大きくなりすぎるおそれがある。このため、安定したシングルモードを得るためには、アパーチャ部の径を $4 \mu\text{m}$ 以下に形成するのが望ましい。しかしながら、この場合、発光効率が低下するのに加えて、電流経路が制限されることによって素子抵抗が増加するという問題が生じるおそれがある。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、横モードの安定した制御が可能な面発光型半導体レーザおよびその製造方法を提供することにある。

【 0 0 0 6 】

また、本発明の目的は、前記面発光型半導体レーザを含む光モジュールおよび光伝達装置を提供することにある。

【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】

1. 第 1 の面発光型半導体レーザ

本発明の第 1 の面発光型半導体レーザは、

基板上に形成された共振器を含み、該共振器の上面に設けられた出射面から該基板と垂直方向にレーザ光を出射できる面発光型半導体レーザであって、

前記共振器は、前記基板の上方に設けられた第 1 ミラーと、活性層と、該活性層を挟んで該第 1 ミラーに対向するように設けられた第 2 ミラーとを含み、

前記出射面の上に反射率調整層が形成され、

前記レーザ光の波長を λ としたとき、

前記第 2 ミラーは、光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ (m_1 は自然数) である層を含み

前記反射率調整層の光学的膜厚が $(2m_2 - 1)\lambda/4$ (m_2 は自然数) である。

【 0 0 0 8 】

本願において、「光学的膜厚」とは、層の実際の膜厚に屈折率を除して得られる値をいう。例えば、レーザ光の波長が λ であって、光学的膜厚が $\lambda/2$ 、屈折率 n が 1.4 である層の場合、この層の実際の膜厚は、光学的膜厚 \times 屈折率 n と等しいことから、 $\lambda/2 \times 1.4 = 0.7\lambda$ である。なお、本願において、単に「膜厚」というときは、層の実際の膜厚をいうものとする。

【 0 0 0 9 】

また、「基板と垂直方向に出射する」とは、前記基板において前記共振器の設置面と垂直方向に光を出射することをいう。

【 0 0 1 0 】

本発明の第 1 の面発光型半導体レーザによれば、前記反射率調整層と、前記第 2 ミラーにおいて該反射率調整層の下方領域とからなる領域の反射率が、それ以外の領域の反射率よりも小さくなっている。

【 0 0 1 1 】

すなわち、前記反射率調整層と、前記第 2 ミラーにおいて該反射率調整層の下方領域とからなる領域を第 1 領域とし、前記第 2 ミラーにおいて前記第 1 領域以外の領域を第 2 領域としたとき、前記第 1 領域における前記レーザ光の反射率を、前記第 2 領域における前記レーザ光の反射率よりも大きくすることができる。これにより、前記第 2 領域と比較して前記第 1 領域におけるレーザ発振の閾値を低減することができるため、横モードの安定した光を得ることが可能となる。

2. 第 2 の面発光型半導体レーザ

本発明の第 2 の面発光型半導体レーザは、

基板上に形成された共振器を含み、該共振器の上面に設けられた出射面から該基板と垂直方向にレーザ光を出射できる面発光型半導体レーザであって、

前記共振器に電流を注入するための第 1 電極および第 2 電極を含み、

前記第 1 電極は、少なくとも一部が前記共振器の上面に形成され、かつ、該共振器の上面に開口部を有し、

前記開口部内に前記出射面が設けられ、
前記出射面の上に反射率調整層が形成されている。

【 0 0 1 2 】

本発明の第2の面発光型半導体レーザによれば、前記第1電極の少なくとも一部が前記共振器の上面に形成され、該共振器の上面に開口部を有し、この開口部内に設けられた出射面の上に前記反射率調整層が形成されている。このように、前記第1電極と前記反射率調整層とが異なる層にて形成されていることにより、前記第1電極および前記反射率調整層をそれぞれ、独立した形状および大きさに形成することができ、素子設計の自由度を高めることができる。

【 0 0 1 3 】

この場合、前記共振器は、前記基板の上方に設けられた第1ミラーと、活性層と、該活性層を挟んで該第1ミラーに対向するように設けられた第2ミラーとを含み、前記反射率調整層と、前記第2ミラーにおいて該反射率調整層の下方領域とからなる領域を第1領域とし、前記第2ミラーにおいて前記第1領域以外の領域を第2領域としたとき、前記第1領域における前記レーザ光の反射率を、前記第2領域における前記レーザ光の反射率よりも大きくすることができる。これにより、前記第2領域と比較して前記第1領域におけるレーザ発振の閾値を低減することができるため、横モードの安定した光を得ることが可能となる。

【 0 0 1 4 】

また、この場合、前記レーザ光の波長を λ としたとき、前記第2ミラーは、光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ (m_1 は自然数) である層を含み、前記反射率調整層の光学的膜厚が $(2m_2 - 1) \lambda / 4$ (m_2 は自然数) であることができる。この構成によれば、前記反射率調整層と、前記第2ミラーにおいて該反射率調整層の下方領域とからなる領域の反射率を高めることができ、該領域においてレーザ発振の閾値を効果的に低減することができる。これにより、横モードの安定した光を得ることが可能となる。

3. 本発明の第1および第2の面発光型半導体レーザは、以下の態様(1)～(7)をとることができる。

【 0 0 1 5 】

(1) 前記光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ である層が、前記第2ミラーの最上層を構成することができる。この構成によれば、前記第1領域における反射率を効果的に高めることができ、横モードの安定した光を確実に得ることが可能となる。

【0016】

(2) 前記反射率調整層は、前記レーザ光に対して光学的に透明であることができる。この構成によれば、レーザ光を効率良く出射させることが可能となり、モードの制御が可能な高効率の面発光レーザを得ることができる。

【0017】

(3) 前記反射率調整層の平面形状が円形であることができる。この場合、前記反射率調整層の直径が $6 \mu m$ 以下であることができる。この構成によれば、高次モードのレーザ光が立ちにくくなるため、シングルモードの安定したレーザ光をより容易に得ることができる。よって、例えばシングルモードファイバを用いた光通信用の光源に適用可能となる。また、この場合、前記出射面は円形であり、前記反射率調整層を、前記出射面の中心軸と同軸上に設けることができる。この構成によれば、横モードが円形である安定したレーザ光を得ることができる。

【0018】

(4) 前記反射率調整層は、熱硬化型樹脂または紫外線硬化型樹脂からなることができる。

【0019】

(5) 前記反射率調整層の膜厚が一定でないように形成することができる。この場合、前記反射率調整層の膜厚を、前記第1電極との接触面近傍で大きくすることができる。

【0020】

(6) 前記第2ミラーには、さらに、同心円状の平面形状を有する電流狭窄層が形成でき、前記電流狭窄層の内径円の面積を、前記反射率調整層の断面積より大きくすることができる。この構成によれば、前記電流狭窄層に起因する素子の抵抗値を小さくすることができるため、発光効率を高めることができる。さらに、前記電流狭窄層が形成されていることにより、横モードの制御と独立に、電流経路の制御をも行なうことができる。この結果、高効率で信頼性に優れた面発光

レーザを得ることができる。

【 0 0 2 1 】

(7) 前記共振器は、少なくとも一部に柱状部を含むことができる。

4. 第 1 の面発光型半導体レーザの製造方法

本発明の第 1 の面発光型半導体レーザの製造方法は、

基板上に形成された共振器を含み、該共振器の上面に設けられた出射面から該基板と垂直方向にレーザ光を出射できる面発光型半導体レーザの製造方法であって、

(a) 前記基板上に共振器を形成し、

前記共振器には、前記基板の上方に設けられた第 1 ミラーと、活性層と、該活性層を挟んで該第 1 ミラーに対向するように設けられた第 2 ミラーと、を形成し

前記第 2 ミラーには、かつ光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ (m_1 は自然数) である層を形成し、

(b) 前記出射面の上に、光学的膜厚が $(2m_2 - 1) \lambda / 4$ (m_2 は自然数) である反射率調整層を形成すること、を含む。

【 0 0 2 2 】

本発明の第 1 の面発光型半導体レーザの製造方法によれば、横モードの安定した制御が可能な面発光型半導体レーザを容易に製造することができる。

【 0 0 2 3 】

この場合、前記 (b) において、前記出射面に対して液滴をインクジェット法にて吐出して前記反射率調整層の前駆体を形成した後、該前駆体を硬化させることにより、前記出射面の上に前記反射率調整層を形成することができる。ここで、前記前駆体は、例えば、熱硬化型樹脂または紫外線硬化型樹脂等、エネルギー線を付与することによって硬化する材料からなることができる。この方法によれば、

インクジェット法を用いて前記反射率調整層を形成することにより、CVD法や蒸着、エッチング等を用いて前記反射率調整層を形成する場合と比較して、素子に加わるダメージを少なくすることができるうえ、より簡易に前記反射率調整層

を形成することができる。また、インクジェット法を用いて前記反射率調整層を形成する場合、液滴の量を調整することによって、前記反射率調整層の膜厚を容易かつ厳密に制御することができる。

【 0 0 2 4 】

また、この場合、前記光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ である層を、前記第 2 ミラーの最上層に形成することができる。

5. 第 2 の面発光型半導体レーザの製造方法

本発明の第 2 の面発光型半導体レーザの製造方法は、
基板上に形成された共振器を含み、該共振器の上面に設けられた出射面から該基板と垂直方向にレーザ光を出射できる面発光型半導体レーザの製造方法であって、

(a) 前記基板上に共振器を形成し、

(b) 前記共振器に電流を注入するための第 1 電極および第 2 電極を形成し、
その際、前記第 1 電極は、少なくとも一部が前記共振器の上面に形成され、かつ、
該共振器の上面に開口部を設けるように形成され、

(c) 前記出射面の上に反射率調整層を形成すること、を含む。

【 0 0 2 5 】

本発明の第 2 の面発光型半導体レーザの製造方法によれば、横モードの安定した制御が可能な面発光型半導体レーザを容易に製造することができる。

【 0 0 2 6 】

この場合、前記 (c) において、前記出射面に対して液滴をインクジェット法にて吐出して前記反射率調整層の前駆体を形成した後、該前駆体を硬化させることにより、前記出射面の上に前記反射率調整層を形成することができる。ここで、前記前駆体は、例えば、熱硬化型樹脂または紫外線硬化型樹脂等、エネルギー線を付与することによって硬化する材料からなることができる。この方法によれば、

第 1 の面発光型半導体レーザの製造方法の欄にて、インクジェット法を用いて前記反射率調整層を形成する場合の作用効果について説明したのと同様の作用効果を有する。

【0027】

また、この場合、前記（a）において、前記共振器を、前記基板の上方に設けられた第1ミラーと、活性層と、該活性層を挟んで該第1ミラーに対向するように設けられた第2ミラーとを含むように形成し、

前記第2ミラーに、光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ （ m_1 は自然数）である層を形成し、

前記（c）において、前記反射率調整層の光学的膜厚が $(2m_2 - 1) \lambda / 4$ （ m_2 は自然数）となるように形成することができる。

【0028】

さらに、この場合、前記光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ である層を、前記第2ミラーの最上層に形成することができる。

5. 光モジュールおよび光伝達装置

本発明の面発光型半導体レーザと、光導波路とを含む光モジュールに適用することができる。また、前記光モジュールを含む光伝達装置に適用することができる。

【0029】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0030】

〔第1の実施の形態〕

1. 面発光型半導体レーザの構造

図1は、本発明を適用した第1の実施の形態に係る面発光型半導体レーザ（以下、「面発光レーザ」ともいう）100を模式的に示す断面図である。図2は、本発明を適用した第1の実施の形態に係る面発光レーザ100を模式的に示す平面図である。図1は、図2のA-A線における断面を示す図である。

【0031】

本実施の形態の面発光レーザ100は、図1に示すように、基板（本実施形態ではn型GaAs基板）101と、基板101上に形成された垂直共振器（以下「共振器」とする）140とを含む。この面発光レーザ100は、共振器140

の上面に設けられた出射面 1 0 8 から、基板 1 0 1 と垂直方向にレーザ光を出射できる。

【0 0 3 2】

次に、この面発光レーザ 1 0 0 の各構成要素について説明する。

【0 0 3 3】

本実施の形態においては、この共振器 1 4 0 は柱状の半導体堆積体（以下「柱状部」とする）1 3 0 を含み、柱状部 1 3 0 の側面は絶縁層 1 0 6 で覆われている。

【0 0 3 4】

共振器 1 4 0 には柱状部 1 3 0 が形成されている。ここで、柱状部 1 3 0 とは、共振器 1 4 0 の一部であって、少なくとも第 2 ミラー 1 0 4 を含む柱状の半導体堆積体をいう。この柱状部 1 3 0 は絶縁層 1 0 6 で埋め込まれている。すなわち、柱状部 1 3 0 の側面は絶縁層 1 0 6 で取り囲まれている。さらに、柱状部 1 3 0 上には第 1 電極 1 0 7 が形成されている。

【0 0 3 5】

共振器 1 4 0 は、例えば、 n 型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層と n 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層とを交互に積層した 4 0 ペアの分布反射型多層膜ミラー（以下、「第 1 ミラー」という）1 0 2、 GaAs ウェル層と $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ バリア層からなり、ウェル層が 3 層で構成される量子井戸構造を含む活性層 1 0 3、および p 型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層と p 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層とを交互に積層した 2 5 ペアの分布反射型多層膜ミラー（以下、「第 2 ミラー」という）1 0 4 が順次積層されて構成されている。なお、第 1 ミラー 1 0 2、活性層 1 0 3、および第 2 ミラー 1 0 4 を構成する各層の組成および層数はこれに限定されるわけではない。

【0 0 3 6】

第 1 ミラー 1 0 2 を構成する各層は、出射面 1 0 8 から出射されるレーザ光の波長を λ としたとき、 $\lambda/4$ の奇数倍（例えば $\lambda/4$ ）の光学的膜厚（本実施の形態においては、図 1 に示す Z 方向と平行な方向の膜厚）を有する。また、第 2 ミラー 1 0 4 は、光学的膜厚が $m_1 \lambda/2$ (m_1 は自然数) である層を含み、こ

の層を除いて、第2ミラー104を構成する各層は、 $\lambda/4$ の奇数倍（例えば $\lambda/4$ ）の光学的膜厚を有する。本実施の形態においては、第2ミラー104において、光学的膜厚が $m_1 \lambda/2$ （ m_1 は自然数）である層が最上層を構成する場合について示す。

【0037】

第2ミラー104は、例えばCがドーピングされることによりp型にされ、第1ミラー102は、例えばSiがドーピングされることによりn型にされている。したがって、第2ミラー104、不純物がドーピングされていない活性層103、および第1ミラー102により、pinダイオードが形成される。

【0038】

また、本実施の形態においては、共振器140のうち面発光レーザ100のレーザ光出射側から第1ミラー102の途中にかけての部分、レーザ光出射側から見て円形の形状にエッチングされて柱状部130が形成されている場合について示す。なお、本実施の形態では、柱状部130の平面形状を円形としたが、この形状は任意の形状をとることが可能である。

【0039】

さらに、第2ミラー104を構成する層のうち活性層103に近い領域に、酸化アルミニウムからなる電流狭窄層105を形成することができる。この電流狭窄層105は、リング状に形成されている。すなわち、この電流狭窄層105は、平面形状が同心円状である。換言すれば、この電流狭窄層105を、図1におけるX-Y平面に平行な面で切断した場合における断面が同心円状である。

【0040】

電流狭窄層105の内径円の面積は、反射率調整層110（後述する）の断面積よりも小さくすることができる。この構成によれば、電流狭窄層105に起因する素子の抵抗値を小さくすることができるため、発光効率を高めることができる。さらに電流狭窄層105が形成されていることにより、横モードの制御と独立に、電流経路の制御をも行なうことができる。この結果、高効率で信頼性に優れた面発光レーザを得ることができる。

【0041】

また、本実施の形態に係る面発光レーザ 1 0 0 においては、柱状部 1 3 0 の側面ならびに第 1 ミラー 1 0 2 の上面を覆うようにして、絶縁層 1 0 6 が形成されている。

【 0 0 4 2 】

この面発光レーザ 1 0 0 の製造工程においては、柱状部 1 3 0 の側面を覆う絶縁層 1 0 6 を形成した後、柱状部 1 3 0 の上面および絶縁層 1 0 6 の上面に第 1 電極 1 0 7 を、基板 1 0 1 の裏面 1 0 1 b に第 2 電極 1 0 9 を、それぞれ形成する。これらの電極形成の際には一般的に、アニール処理を約 4 0 0 ℃で行なう（後述する製造プロセスを参照）。したがって、樹脂を用いて絶縁層 1 0 6 を形成する場合、このアニール処理工程に耐え得るためには、絶縁層 1 0 6 を構成する樹脂は耐熱性に優れたものであることが必要とされる。この要求を満たすためには、絶縁層 1 0 6 を構成する樹脂がポリイミド樹脂、フッ素系樹脂、アクリル樹脂、またはエポキシ樹脂等であることが望ましく、特に、加工の容易性や絶縁性の観点から、ポリイミド樹脂であるのが望ましい。

【 0 0 4 3 】

第 1 電極 1 0 7 および第 2 電極 1 0 9 は、共振器 1 4 0 に電流を注入するために設けられている。具体的には、この第 1 電極 1 0 7 および第 2 電極 1 0 9 によって活性層 1 0 3 に電流が注入される。

【 0 0 4 4 】

第 1 電極 1 0 7 は、図 1 に示すように、少なくとも一部が柱状部 1 3 0 の上面に形成されている。具体的には、第 1 電極 1 0 7 は、柱状部 1 3 0 の上面および絶縁層 1 0 6 の上に形成されている。第 1 電極 1 0 7 は、例えば A u と Z n の合金と A u との積層膜から形成することができる。

【 0 0 4 5 】

また、第 1 電極 1 0 7 は、共振器 1 3 0 の上面 1 3 0 a に開口部 1 1 8 を有する。すなわち、柱状部 1 3 0 の上面 1 3 0 a の中央部には、第 1 電極 1 0 7 が形成されていない部分（開口部 1 1 8）が設けられている。この開口部 1 1 8 内に出射面 1 0 8 が設けられている。この出射面 1 0 8 がレーザ光の出射口となる。本実施の形態の面発光レーザ 1 0 0 においては、出射面 1 0 8 は円形である場合

を示す。

【0046】

さらに、基板101の裏面101bには、第2電極109が形成されている。すなわち、図1に示す面発光レーザ100では、柱状部130上で第1電極107と接合し、かつ、基板101の裏面101bで第2電極109と接合している。第2電極109は、例えばAuとGeの合金とAuとの積層膜から形成することができる。

【0047】

出射面108の上には反射率調整層110が形成されている。この反射率調整層110は、その平面形状を円形に形成することができる。この場合、反射率調整層110の直径を6 μ m以下にすることができる。この構成によれば、高次モードのレーザ光が立ちにくくなるため、シングルモードの安定したレーザ光をより容易に得ることができる。よって、例えばシングルモードファイバを用いた光通信用の光源に適用可能となる。また、この場合、この反射率調整層110は、出射面108の中心軸と同軸状に設けることができる。この構成によれば、横モードが円形である安定したレーザ光を得ることができる。

【0048】

また、この反射率調整層110は、出射面108から出射されるレーザ光に対して透明な材質から形成することができる。このように、反射率調整層110が前記レーザ光に対して透明な材質からなることにより、レーザ光を効率良く出射させることが可能となり、モードの制御が可能な高効率の面発光レーザを得ることができる。

【0049】

反射率調整層110は、例えば熱または光等のエネルギーを付加することによって硬化可能な液体材料（例えば紫外線硬化型樹脂または熱硬化型樹脂）からなる。紫外線硬化型樹脂としては、例えば紫外線硬化型のアクリル系樹脂およびエポキシ系樹脂が挙げられる。また、熱硬化型樹脂としては、熱硬化型のポリイミド系樹脂の前駆体等が例示できる。

【0050】

紫外線硬化型樹脂は、短時間の紫外線照射によって硬化する。このため、熱工程など素子に対するダメージを与えやすい工程を経ずに硬化させることができる。したがって、紫外線硬化型樹脂を用いて反射率調整層 110 を形成する場合、素子へ与える影響を少なくすることができる。

【0051】

また、この反射率調整層 110 は、光学的膜厚 d_r (図 3 参照) が $(2m_2 - 1)\lambda/4$ (m_2 は自然数) である。

【0052】

図 1 には、面発光レーザ 100 とともに、第 2 ミラー 104 の反射率の断面プロフィールが示されている。また、図 1 における第 2 ミラー 104 近傍の拡大断面図を図 3 に示す。図 3 に示すように、反射率調整層 110 と、第 2 ミラー 104 において反射率調整層 110 の下方領域とからなる領域を第 1 領域 191 とし、第 2 ミラー 104 において第 1 領域 191 以外の領域を第 2 領域 192 とする。具体的には、図 3 において、網掛けで示した領域が第 1 領域 191 であり、斜線で示した領域が第 2 領域 192 である。ここで、第 1 領域 191 におけるレーザ光の反射率が、第 2 領域 192 におけるレーザ光の反射率よりも大きくなるように形成されている。図 1 および図 3 に、第 1 領域 191 および第 2 領域 192 それぞれにおける反射率の分布を示す。図 1 および図 3 において、矢印の向きに進むほど反射率が高いことを示す。

【0053】

前述したように、第 2 ミラー 104 は、光学的膜厚が $m_1\lambda/2$ である層を含み、この層以外の第 2 ミラー 104 を構成する各層は、 $\lambda/4$ の奇数倍の光学的膜厚を有する。第 2 ミラー 104 を構成するすべての層の光学的膜厚が $\lambda/4$ の奇数倍である場合と比較すると、本実施の形態の面発光レーザ 100 のように、この第 2 ミラー 104 が、光学的膜厚が $m_1\lambda/2$ である層を含み、かつ、該層以外のすべての光学的膜厚が $\lambda/4$ の奇数倍である場合、第 2 ミラー 104 の反射率は低い。しかしながら、この場合において、さらに、出射面 108 の上に、光学的膜厚が $(2m_2 - 1)\lambda/4$ である反射率調整層 110 が形成されることにより、第 1 領域 191 の反射率を大きくすることができる。これにより、第 1

領域 1 9 1 におけるレーザ光の反射率を、第 2 領域 1 9 2 におけるレーザ光の反射率よりも大きくなるように形成できる。その結果、第 2 領域 1 9 2 よりも第 1 領域 1 9 1 のほうが、より効率良くレーザ発振が生じるため、シングルモードの光を効率良く得ることができる。

2. 面発光型半導体レーザの動作

本実施の形態の面発光レーザ 1 0 0 の一般的な動作を以下に示す。なお、下記の面発光型半導体レーザの駆動方法は一例であり、本発明の趣旨を逸脱しない限り、種々の変更が可能である。

【 0 0 5 4 】

まず、第 1 電極 1 0 7 と第 2 電極 1 0 9 とで、pin ダイオードに順方向の電圧を印加すると、活性層 1 0 3 において、電子と正孔との再結合が起こり、係る再結合による発光が生じる。そこで生じた光が第 2 ミラー 1 0 4 と第 1 ミラー 1 0 2 との間を往復する際に誘導放出が起こり、光の強度が増幅される。光利得が光損失を上まわると、レーザ発振が起こり、柱状部 1 3 0 上面にある出射面 1 0 8 から反射率調整層 1 1 0 を経て、基板 1 0 1 に対して垂直方向（図 1 に示す Z 方向）にレーザ光が出射される。ここで、「基板 1 0 1 に対して垂直方向」とは、基板 1 0 1 の表面 1 0 1 a（図 1 では X-Y 平面と平行な面）に対して垂直な方向（図 1 では Z 方向）をいう。

3. 面発光型半導体レーザの製造プロセス

次に、本発明を適用した第 1 の実施の形態に係る面発光レーザ 1 0 0 の製造方法の一例について、図 4 ～図 1 0 を用いて説明する。図 4 ～図 1 0 は、図 1 ～図 3 に示す本実施の形態の面発光レーザ 1 0 0 の一製造工程を模式的に示す断面図であり、それぞれ図 1 に示す断面に対応している。

【 0 0 5 5 】

(1) まず、n 型 GaAs からなる基板 1 0 1 の表面に、組成を変調させながらエピタキシャル成長させることにより、半導体多層膜 1 5 0 を形成する（図 4 参照）。

【 0 0 5 6 】

ここで、半導体多層膜 1 5 0 は例えば、n 型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層と n

型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層とを交互に積層した40ペアの第1ミラー102、 GaAs ウェル層と $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ バリア層からなり、ウェル層が3層で構成される量子井戸構造を含む活性層103、およびp型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層とp型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層とを交互に積層した25ペアの第2ミラー104からなる。この際、第2ミラー104の最上層のみ、光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ になるように成長させる。前記第2ミラー104の最上層を除いて、第1ミラー102および第2ミラー104を構成する各層は、光学的膜厚が $\lambda / 4$ の奇数倍に形成される。これらの層を順に基板101上に堆積させることにより、半導体多層膜150が形成される。なお、第2ミラー104を成長させる際に、活性層103近傍の少なくとも1層を、 AlAs 層または Al 組成が0.95以上の AlGaAs 層 (Al 組成が高い層) に形成する。この層は後に酸化され、電流狭窄層105となる。また、第2ミラー104の最表面の層は、キャリア密度を高くし、電極(後述する第1電極107)とのオーミック接触をとりやすくしておくのが望ましい。

【0057】

エピタキシャル成長を行なう際の温度は、成長方法や原料、基板101の種類、あるいは形成する半導体多層膜150の種類、厚さ、およびキャリア密度によって適宜決定されるが、一般に、 $450^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ であるのが好ましい。また、エピタキシャル成長を行なう際の所要時間も、温度と同様に適宜決定される。また、エピタキシャル成長させる方法としては、有機金属気相成長 (MOVPE: Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy) 法や、MBE法 (Molecular Beam Epitaxy) 法、あるいはLPE法 (Liquid Phase Epitaxy) を用いることができる。

【0058】

(2) 続いて、柱状部130を形成する(図5参照)。

【0059】

具体的には、半導体多層膜150上に、フォトレジスト(図示しない)を塗布した後フォトリソグラフィ法により該フォトレジストをパターニングすることに

より、所定のパターンのレジスト層 R 1 0 0 を形成する。ついで、このレジスト層 R 1 0 0 をマスクとして、例えばドライエッチング法により、第 2 ミラー 1 0 4、活性層 1 0 3、および第 1 ミラー 1 0 2 の一部をエッチングして、柱状の半導体堆積体（柱状部） 1 3 0 を形成する。以上の工程により、図 5 に示すように、基板 1 0 1 上に、柱状部 1 3 0 を含む共振器 1 4 0 が形成される。その後、レジスト層 R 1 0 0 を除去する。

【 0 0 6 0 】

（ 3 ） 次いで、必要に応じて、電流狭窄層 1 0 5 を形成する（図 6 参照）。

【 0 0 6 1 】

具体的には、図 6 に示すように、例えば 4 0 0 ℃ 程度の水蒸気雰囲気中に、上記工程によって共振器 1 4 0 が形成された基板 1 0 1 を投入することにより、前述の第 2 ミラー 1 0 4 中の A 1 組成が高い層を側面から酸化して、電流狭窄層 1 0 5 を形成することができる。酸化レートは、炉の温度、水蒸気の供給量、酸化すべき層（前記 A 1 組成が高い層）の A 1 組成および膜厚に依存する。酸化により形成される電流狭窄層を備えた面発光レーザでは、駆動する際に、電流狭窄層が形成されていない部分（酸化されていない部分）のみに電流が流れる。したがって、酸化によって電流狭窄層を形成する工程において、形成する電流狭窄層 1 0 5 の範囲を制御することにより、電流密度の制御が可能となる。

【 0 0 6 2 】

（ 4 ） 次いで、柱状部 1 3 0 を取り囲む絶縁層 1 0 6 を形成する（図 7 参照）。

【 0 0 6 3 】

ここでは、絶縁層 1 0 6 を形成するための材料として、ポリイミド樹脂を用いた場合について説明する。まず、例えばスピコート法を用いて、樹脂前駆体（ポリイミド前駆体）を共振器 1 4 0 上に塗布して、樹脂前駆体層（図示せず）を形成する。この際、前記樹脂前駆体層の膜厚が柱状部 1 3 0 の高さより大きくなるように形成する。なお、前記樹脂前駆体層の形成方法としては、前述したスピコート法のほか、ディッピング法、スプレーコート法、インクジェット法等の公知技術が利用できる。

【0064】

次いで、この基板を、例えばホットプレート等を用いて加熱して溶媒を除去した後、柱状部130の上面130a（図7参照）を露出させる。柱状部130の上面130aを露出させる方法としては、CMP法、ドライエッチング法、ウェットエッチング法などが利用できる。この後、前記樹脂前駆体層を約350℃の炉内にてイミド化させることで、絶縁層106が形成される。なお、イミド化工程を経てほぼ完全に硬化させた絶縁層をエッチングして、柱状部130の上面130aを露出させてもよい。

【0065】

（5）次に、活性層103に電流を注入するための第1電極107および第2電極109、およびレーザー光の出射面108を形成する（図8参照）。

【0066】

まず、第1電極107および第2電極109を形成する前に、必要に応じて、プラズマ処理法等を用いて、柱状部130の上面130aを洗浄する。これにより、より安定した特性の素子を形成することができる。つづいて、例えば真空蒸着法により絶縁層106および柱状部130の上面130a（図7参照）に、例えばAuとZnの合金とAuとの積層膜（図示せず）を形成する。この場合、最表面にAu層を形成する。次いで、リフトオフ法により、柱状部130の上面130aに、前記積層膜が形成されていない部分を形成する。この部分が開口部118となる（図8参照）。出射面108は、開口部118内に設けられる。すなわち、柱状部130の上面130aのうち開口部118内の領域が出射面108として機能する。なお、前記工程において、リフトオフ法のかわりに、ドライエッチング法を用いることもできる。

【0067】

また、基板101の裏面101bに、例えば真空蒸着法により、例えばAuとGeの合金とAuとの積層膜（図示せず）を形成する。次いで、アニール処理する。アニール処理の温度は電極材料に依存する。本実施形態で用いた電極材料の場合は、通常400℃前後で行なう。

【0068】

(6) 次いで、出射面108の上に反射率調整層110を形成する(図9および図10参照)。

【0069】

具体的には、まず、開口部118の内側に、フォトリソグラフィ法により、レジスト層R200を形成する。このレジスト層R200は、開口部218を有する。この開口部218は、反射率調整層110を形成するために利用される。具体的には、この開口部218は円形の平面形状を有し、その中心軸が開口部118の中心軸と一致するように形成される。

【0070】

次いで、この開口部218に対して、インクジェット法により液滴110aを吐出して、反射率調整層110(図1～図3参照)の前駆体110bを形成した後(図10参照)、この前駆体110bを硬化させることにより、出射面108の上に反射率調整層110を形成する。ここで、前駆体110bは、エネルギー線を付与することによって硬化する材料、例えば熱硬化型樹脂または紫外線硬化型樹脂からなる。

【0071】

インクジェットの吐出方法としては、例えば、(i)熱により液体(ここではレンズ材)中の気泡の大きさを変化させることで圧力を生じ、液体を吐出する方法、(ii)圧電素子により生じた圧力によって液体を吐出させる方法とがある。圧力の制御性の観点からは、前記(ii)の方法が望ましい。

【0072】

インクジェットヘッド120のノズル112の位置と、液滴110aの吐出位置とのアライメントは、一般的な半導体集積回路の製造工程における露光工程や検査工程で用いられる公知の画像認識技術を用いて行なわれる。例えば、図9に示すように、インクジェットヘッド120のノズル112の位置と、面発光レーザ100の開口部118とのアライメントを画像認識により行なう。アライメント後、インクジェットヘッド120に印加する電圧を制御した後、液滴110aを吐出する。これにより、出射面108の上に前駆体110bを形成する(図10参照)。

【 0 0 7 3 】

この場合、ノズル 1 1 2 から吐出される液滴 1 1 0 a の吐出角度にはある程度のばらつきがあるが、液滴 1 1 0 a が着弾した位置が開口部 1 1 8 の内側であれば、レジスト層 R 2 0 0 で囲まれた領域に液滴 1 1 0 a が濡れ広がり、自動的に位置の補正がなされる。

【 0 0 7 4 】

以上の工程を行なった後、図 1 0 に示すように、エネルギー線（例えば紫外線）1 1 3 を照射することにより、前駆体 1 1 0 b を硬化させる。これにより出射面 1 0 8 の上に、反射率調整層 1 1 0 を形成する（図 1 ～図 3 参照）。最適な紫外線の波長および照射量は、前駆体 1 1 0 b の材質に依存する。例えば、アクリル系紫外線硬化樹脂を用いて前駆体 1 1 0 b を形成した場合、波長 3 5 0 n m 程度、強度 1 0 m W の紫外線を 5 分間照射することで硬化を行なう。その後、レジスト層 R 2 0 0 を除去する。

【 0 0 7 5 】

以上のプロセスにより、図 1 ～図 3 に示す面発光レーザ 1 0 0 が得られる。

4. 作用および効果

本実施の形態に係る面発光レーザ 1 0 0 は、以下に示す作用および効果を有する。

【 0 0 7 6 】

(1) 反射率調整層 1 1 0 と、第 2 ミラー 1 0 4 において反射率調整層 1 1 0 の下方領域とからなる領域の反射率が、それ以外の領域の反射率よりも小さくなっている。具体的には、レーザ光の波長を λ としたとき、第 2 ミラー 1 0 4 が、光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ である層を含み、反射率調整層 1 1 0 の光学的膜厚が $(2 m_2 - 1) \lambda / 4$ であることにより、第 1 領域 1 9 1 におけるレーザ光の反射率を、第 2 領域 1 9 2 におけるレーザ光の反射率よりも大きくなるように形成できる（図 3 参照）。これにより、第 2 領域 1 9 2 と比較して第 1 領域 1 9 1 におけるレーザ発振の閾値を低減することができるため、横モードの安定した光を得ることが可能となる。

【 0 0 7 7 】

特に、光学的膜厚が $m_1 \lambda / 2$ である層が、第2ミラー104の最上層を構成することにより、第1領域191における反射率を効果的に高めることができ、横モードの安定した光を確実に得ることが可能となる。

【0078】

(2) 第1電極107の少なくとも一部が共振器130の上面130aに形成され、共振器130の上面130aに開口部118を有し、この開口部118内に設けられた出射面108の上に反射率調整層110が形成されている。すなわち、第1電極107と反射率調整層110とが異なる層にて形成されていることにより、第1電極107および反射率調整層110をそれぞれ、独立した形状および大きさに形成することができ、素子設計の自由度を高めることができる。

【0079】

(3) 反射率調整層110が熱硬化型樹脂または紫外線硬化型樹脂からなる。また、この反射率調整層110は、インクジェット法にて形成することができる。

インクジェット法を用いて反射率調整層110を形成することにより、CVD法や蒸着、エッチング等を用いて反射率調整層110を形成する場合と比較して、素子に加わるダメージを少なくすることができるうえ、より簡易に反射率調整層110を形成することができる。また、インクジェット法を用いて反射率調整層110を形成する場合、液滴の量を調整することによって、反射率調整層110の膜厚を容易かつ厳密に制御することができる。

【0080】

[第2の実施の形態]

1. 面発光型半導体レーザの構造

図11は、本発明を適用した第2の実施の形態に係る面発光レーザ200を模式的に示す断面図である。図12は、本発明を適用した第2の実施の形態に係る面発光レーザ200を模式的に示す平面図である。図11は、図12のA-A線における断面を示す図である。

【0081】

本実施の形態に係る面発光レーザ200は、反射率調整層210が第1電極1

07の開口部118全体に形成されている点以外は、第1の実施の形態に係る面発光レーザ100とほぼ同様の構造を有する。第1の実施の形態に係る面発光レーザ100と実質的に同じ機能を有する構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0082】

図11には、面発光レーザ200とともに、第2ミラー104の反射率の断面プロファイルが示されている。また、図11における第2ミラー104近傍の拡大断面図を図13に示す。図13に示すように、反射率調整層210と、第2ミラー104において反射率調整層210の下方領域とからなる領域を第1領域291とし、第2ミラー104において第1領域291以外の領域を第2領域292とする。具体的には、図13において、網掛けで示した領域が第1領域291であり、斜線で示した領域が第2領域292である。

【0083】

この面発光レーザ200においても、第1の実施の形態の面発光レーザ100と同様に、第1領域291におけるレーザ光の反射率を、第2領域292におけるレーザ光の反射率よりも大きくなるように形成されている。これにより、第2領域292と比較して第1領域291においては、より効率良くレーザ発振が生じるため、シングルモードの光を効率良く得ることができる。

【0084】

例えば、反射率調整層210は、第1電極107との接触面近傍を除く部分の光学的膜厚 d_r （図13参照）を、第1の実施の形態の反射率調整層110と同様に、 $(2m_2 - 1)\lambda/4$ （ m_2 は自然数）に形成することができる。また、この反射率調整層210は、第1の実施の形態の反射率調整層110と同様の材質からなる。

【0085】

さらに、図11および図13に示すように、反射率調整層210は膜厚が一定ではなく、第1電極107との接触面近傍でその膜厚が大きくなるように形成することができる。これにより、第1電極107との接触面近傍では、該接触面に近づくにつれて、第1領域291の反射率が低下していく（図13参照）。

2. 面発光型半導体レーザーの製造プロセス

第2の実施の形態に係る面発光レーザー200は、途中の工程（電極107，109を形成する工程）まで、第1の実施の形態に係る面発光レーザー100の製造工程を用いて形成することができる。このため、電極形成工程までの説明は省略する。

【0086】

前記電極形成後、第1の実施の形態においては、反射率調整層110を形成する工程において、開口部118にレジスト層R200を形成して、レジスト層R200に形成された開口部218に液滴110aを吐出したのに対し（図9参照）、本実施の形態においては、反射率調整層210を形成する工程において、レジスト層R200を形成せずに、開口部118（図9参照）内に直接液滴110aを吐出して、反射率調整層の前駆体（図示せず）を形成する。これ以降の工程（硬化工程）は、第1の実施の形態と同様である。これにより、反射率調整層210（図11～図13参照）を形成する。

【0087】

なお、開口部118に液滴110aを吐出する前に、必要に応じて、出射面108および開口部118の側面に対して、液滴110aとの濡れ性を高めるための処理を行なうことができる。

3. 面発光型半導体レーザーの動作および作用効果

本実施の形態の面発光レーザー200の動作は、第1の実施の形態の面発光レーザー100と基本的に同様であるため、説明は省略する。

【0088】

また、本実施の形態に係る面発光レーザー200およびその製造方法は、第1の実施の形態に係る面発光レーザー100およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。

【0089】

さらに、本実施の形態に係る面発光レーザー200では、開口部118に直接液滴110aを吐出する工程を経て、反射率調整層210が形成される。このため、レジスト層R200を用いることなく、反射率調整層210を形成することが

できる。これにより、簡易な方法にて、反射率の高い領域が必然的に限定され、安定した横モードの制御が可能な面発光レーザを得ることができる。

【 0 0 9 0 】

〔第 3 の実施の形態〕

1. 面発光型半導体レーザの構造

図 1 4 は、本発明を適用した第 3 の実施の形態に係る面発光レーザ 3 0 0 を模式的に示す断面図である。図 1 5 は、本発明を適用した第 3 の実施の形態に係る面発光レーザ 3 0 0 を模式的に示す平面図である。図 1 4 は、図 1 5 の A - A 線における断面を示す図である。

【 0 0 9 1 】

本実施の形態に係る面発光レーザ 3 0 0 は、第 2 電極 1 1 9 が第 1 電極 1 0 7 とともに、基板 1 0 1 の表面 1 0 1 a の上方に形成されている点以外は、第 1 の実施の形態に係る面発光レーザ 1 0 0 とほぼ同様の構造を有する。第 1 の実施の形態に係る面発光レーザ 1 0 0 と実質的に同じ機能を有する構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【 0 0 9 2 】

この面発光レーザ 3 0 0 では、基板 1 0 1 の表面 1 0 1 a の上方に、第 1 電極 1 0 7 および第 2 電極 1 1 9 の 2 つのパッドが形成されている。開口部 1 1 1 は、図 1 4 に示すように、少なくとも第 1 ミラー 1 0 2 まで到達するように形成されている。

2. 面発光型半導体レーザの製造プロセス

本実施の形態に係る面発光レーザ 3 0 0 は、途中の工程まで、第 1 の実施の形態に係る面発光レーザ 1 0 0 の製造工程を用いて形成される。すなわち、前述した第 1 の実施の形態に係る面発光レーザ 1 0 0 の製造工程において、共振器 1 4 0 の上に絶縁層 1 0 6 を形成した後（図 7 参照）、絶縁層 1 0 6 に開口部 1 1 1（図 1 4 参照）を形成する。開口部 1 1 1 の形成方法としては、ウェットエッチング法やドライエッチング法等が例示できる。必要に応じて、開口部 1 1 1 の底面に相当する第 1 ミラー 1 0 2 の露出面をエッチングしてもよい。

【 0 0 9 3 】

次いで、第 1 の実施の形態と同様に第 1 電極 1 0 7 を形成する。さらに、開口部 1 1 1 の底面から絶縁層 1 0 6 の上面にかけて第 2 電極 1 1 9 を形成する。第 2 電極 1 1 9 は、第 1 の実施の形態の面発光レーザ 1 0 0 の第 2 電極 1 0 9 を形成するための材料と同様の材料を用いることができる。また、本実施の形態において、第 2 電極 1 1 9 を形成する場合、例えばリフトオフ法を用いて、開口部 1 1 1 の底面に相当する第 1 ミラー 1 0 2 の露出面から絶縁層 1 0 6 の上面に至るまでをカバーするようにパターニングを行なう。以降の工程（反射率調整層 1 1 0 を形成する工程）は、第 1 の実施の形態と同様である。以上の工程により、面発光レーザ 3 0 0 を形成することができる。

3. 面発光型半導体レーザの動作および作用効果

本実施の形態の面発光レーザ 3 0 0 の動作は、第 1 の実施の形態の面発光レーザ 1 0 0 と基本的に同様であるため、説明は省略する。

【 0 0 9 4 】

さらに、本実施の形態に係る面発光レーザ 3 0 0 では、第 1 電極 1 0 7 と第 2 電極 1 1 9 とがいずれも、基板 1 0 1 の表面 1 0 1 a の上方に形成されている。これにより、例えば、第 1 電極 1 0 7 および第 2 電極 1 1 9 の上にバンプを介して駆動素子等を実装することができる。これにより、ワイヤ等を介さずに素子を駆動させることができ、いわゆるフェイスダウン構造の実装を達成することができる。また、第 1 電極 1 0 7 および第 2 電極 1 1 9 は、同一面上に形成されている。このように、同一面上に複数のパッドが形成されていることにより、安定した実装が可能になる。

【 0 0 9 5 】

〔第 4 の実施の形態〕

図 1 6 は、本発明を適用した第 4 の実施の形態に係る光モジュールを模式的に説明する図である。本実施の形態に係る光モジュールは、構造体 1 0 0 0 （図 1 6 参照）を含む。この構造体 1 0 0 0 は、第 1 の実施の形態に係る面発光レーザ 1 0 0 （図 1 参照）、プラットフォーム 1 1 2 0、第 1 の光導波路 1 1 3 0 およびアクチュエータ 1 1 5 0 を有する。また、この構造体 1 0 0 0 は、第 2 の光導波路 1 3 0 2 を有する。第 2 の光導波路 1 3 0 2 は、基板 1 3 0 8 の一部をなす

。第2の光導波路1302には、接続用光導波路1304を光学的に接続してもよい。接続用光導波路1304は、光ファイバであってもよい。また、プラットフォーム1120は、樹脂1306によって基板1308に固定されている。

【0096】

本実施の形態の光モジュールでは、面発光レーザ100（出射面108・図1参照）から光が出射した後、第1および第2の光導波路1130、1302（および接続用光導波路1304）を通して、受光素子（図示せず）にこの光が受光される。

【0097】

〔第5の実施の形態〕

図17は、本発明を適用した第5の実施の形態に係る光伝達装置を説明する図である。本実施の形態では、第1の光導波路1130と受光素子220との間に、複数の第3の光導波路1230、1310、1312を有する。また、本実施の形態に係る光伝達装置は、複数（2つ）の基板1314、1316を有する。

【0098】

本実施の形態では、面発光レーザ100側の構成（面発光レーザ100、プラットフォーム1120、第1の光導波路1130、第2の光導波路1318、アクチュエータ1150を含む。）と、受光素子220側の構成（受光素子220、プラットフォーム1220、第3の光導波路1230、1310を含む。）との間に、第3の光導波路1312が配置されている。第3の光導波路1312として、光ファイバなどを使用して、複数の電子機器間の光伝達を行なうことができる。

【0099】

例えば、図18において、光伝達装置1100は、コンピュータ、ディスプレイ、記憶装置、プリンタ等の電子機器1102を相互に接続するものである。電子機器1102は、情報通信機器であってもよい。光伝達装置1100は、光ファイバ等の第3の光導波路1312を含むケーブル1104を有する。光伝達装置1100は、ケーブル1104の両端にプラグ1106が設けられたのもであってもよい。それぞれのプラグ1106内に、面発光レーザ100、受光素子2

20側の構成が設けられる。いずれかの電子機器1102から出力された電気信号は、発光素子によって光信号に変換され、光信号はケーブル1104を伝わり、受光素子によって電気信号に変換される。電気信号は、他の電子機器1102に入力される。こうして、本実施の形態に係る光伝達装置1100によれば、光信号によって、電子機器1102の情報伝達を行なうことができる。

【0100】

図19は、本発明を適用した実施の形態に係る光伝達装置の使用形態を示す図である。光伝達装置1110は、電子機器1112間を接続する。電子機器1112として、液晶表示モニター又はデジタル対応のCRT（金融、通信販売、医療、教育の分野で使用されることがある。）、液晶プロジェクタ、プラズマディスプレイパネル（PDP）、デジタルTV、小売店のレジ（POS（Point of Sale Scanning）用）、ビデオ、チューナー、ゲーム装置、プリンタ等が挙げられる。

【0101】

なお、図18および図19に示す光伝達装置において、面発光レーザ100のかわりに、面発光レーザ200（図11～図13参照）、300（図14および図15参照）を用いた場合でも、同様の作用および効果を奏することができる。

【0102】

〔第6の実施の形態〕

図20は、本発明を適用した第6の実施の形態に係る光伝達装置を説明する図である。本実施の形態では、光伝達装置がICチップ間光インターコネクション装置2000である場合を例にとり説明する。

1. 光伝達装置の構造

本実施の形態の光インターコネクション装置2000は、複数のICチップが積層されて形成されている。本実施の形態の光インターコネクション装置2000では、図20に示すように、ICチップが2つ積層されている例を示したが、積層されるICチップの数はこれに限定されるわけではない。

【0103】

この光インターコネクション装置2000は、積層されたICチップ501、

502間でレーザ光521, 522が伝送され、データのやり取りが行われる。ICチップ501, 502はそれぞれ、基板（例えばシリコン基板）511, 512と、この基板511, 512にそれぞれ形成されたIC領域531, 532を含む。ICチップ501, 502としては、CPUやメモリ、ASICなどの各種のICが例示できる。

【0104】

ICチップ501においては、基板511上に、第1の実施の形態に係る面発光レーザ100および光検出器541が設置されている。同様に、ICチップ502においては、基板512上に、第1の実施の形態に係る面発光レーザ100および光検出器542が設置されている。なお、本実施の形態においては、第1の実施の形態に係る面発光レーザ100を基板511, 512にそれぞれ設置した場合について示したが、面発光レーザ100の一方および両方について、第2および第3の面発光レーザ200, 300をかわりに設置することもできる。

2. 光伝達装置の動作

次に、この光インターコネクション装置2000の動作について、図20を参照して説明する。

【0105】

この光インターコネクション装置2000において、ICチップ501のIC領域531で電氣的に処理された信号は、面発光レーザ100の共振器140（図1参照；図20では図示せず）でレーザ光パルス信号に変換された後、ICチップ502の光検出器542へと送られる。光検出器542は、受信したレーザ光パルスを電気信号へと変換してIC領域532へ送る。

【0106】

一方、ICチップ502に形成された面発光レーザ100から光検出器541へとレーザ光を送る場合も同様に動作する。すなわち、この光インターコネクション装置2000において、ICチップ502のIC領域532で電氣的に処理された信号は、面発光レーザ100の共振器140でレーザ光パルス信号に変換された後、ICチップ501の光検出器541へと送られる。光検出器541は、受信したレーザ光パルスを電気信号へと変換してIC領域531へ送る。こう

して IC チップ 5 0 1、5 0 2 はレーザ光を介してデータのやり取りを行なう。

【 0 1 0 7 】

なお、基板 5 1 1、5 1 2 がシリコン基板からなる場合、面発光レーザ 1 0 0 の共振器の発振波長を $1.1 \mu\text{m}$ 以上にすることにより、面発光レーザから出射する光が基板（シリコン基板）5 1 1、5 1 2 を通過することができる。

【 0 1 0 8 】

ところで、処理速度の高速化および高周波化に伴い、電氣的接続による IC チップ間の信号伝送においては一般に、次のような課題が生じるようになる。

- ・配線間の信号伝達タイミングのズレ（スキュー）が発生する
- ・高周波電気信号の伝送における消費電力が増大する
- ・配線レイアウトの設計が困難になる
- ・インピーダンスのマッチングが必要となる
- ・アースノイズ遮断対策が必要となる

これに対して、本実施の形態の光インターコネクション装置 2 0 0 0 のように、IC チップ間の信号伝送を光信号で行なうことにより、上記課題を解決することができる。

【 0 1 0 9 】

本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成（例えば、機能、方法および結果が同一の構成、あるいは目的および結果が同一の構成）を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

【 0 1 1 0 】

例えば、上記実施の形態では、柱状部を一つ有する面発光型半導体レーザについて説明したが、基板面内で柱状部が複数個設けられていても本発明の形態は損なわれない。また、複数の面発光型半導体レーザがアレイ化されている場合でも、同様の作用および効果を有する。

【0111】

また、例えば、上記実施の形態において、各半導体層におけるp型とn型とを入れ替えても本発明の趣旨を逸脱するものではない。上記実施の形態では、AlGaAs系のものについて説明したが、発振波長に応じてその他の材料系、例えば、GaInP系、ZnSSe系、InGaN系、AlGaN系、InGaAs系、GaInNAs系、GaAsSb系の半導体材料を用いることも可能である。

【0112】

さらに、上記実施形態では、化合物半導体基板としてGaAs基板を用いた場合を示したが、他の基板、例えば、GaN基板、AlN基板、InP基板、GaP基板、ZnSe基板、ZnS基板、CdTe基板、ZnTe基板、CdS基板等の化合物半導体基板を用いることもできる。

【0113】

〔実験例〕

本実施の形態の面発光レーザー100について、第2ミラー104の反射率についてシミュレーションを行なった。図21は、この測定によって得られた第2ミラー104内の第1および第2領域191、192の反射率を示している。また、この測定において、面発光レーザー100を構成する各層は、上記実施の形態で示した構造および組成を有するものとし、この面発光レーザー100の発振波長は850nmとした。なお、この測定において、上記の例にて示した反射率は、電流狭窄層105の反射率を考慮していない。

【0114】

まず、第2ミラー104が、光学的膜厚が $\lambda/4$ である25ペアのn型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とn型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層とが交互に積層され、最上層の光学的膜厚のみを $\lambda/2$ に形成した場合、発振波長の850nmの光について第2ミラー104の反射率は、99.04%であった。この場合において、前記光学的膜厚が $\lambda/2$ である最上層に加えて、出射面108の上に、光学的膜厚が $\lambda/4$ である反射率調整層110を形成した場合、第2ミラー104のうち第1領域191（図3参照）の反射率は99.57%となり、第2領域1

92 (図3 参照) の反射率は、反射率調整層 110 が形成されていない場合と同様に、99.04%であった。なお、図21は、第1領域191および第2領域192それぞれにおける各波長の光の反射率を示している。図21においては、第1領域191における反射率が実線で、第2領域192における反射率が破線で示されている。

【0115】

本実験例によれば、第2ミラー104の最上層の光学的膜厚が $\lambda/2$ であり、出射面108の上に、光学的膜厚が $\lambda/4$ である反射率調整層110が形成されていることにより、第1領域191におけるレーザ光の反射率を、第2領域192におけるレーザ光の反射率よりも大きくなるように形成することができた (図21 参照)。これにより、第2領域192と比較して第1領域191におけるレーザ発振の閾値を低減することができるため、横モードの安定した光を得ることが可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明を適用した第1の実施の形態に係る面発光型半導体レーザを模式的に示す断面図である。

【図2】 本発明を適用した第1の実施の形態に係る面発光型半導体レーザを模式的に示す平面図である。

【図3】 図1に示す第2ミラーを模式的に示す拡大断面図である。

【図4】 図1～図3に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図5】 図1～図3に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図6】 図1～図3に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図7】 図1～図3に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図8】 図1～図3に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 9】 図 1 ～図 3 に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 1 0】 図 1 ～図 3 に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 1 1】 本発明を適用した第 2 の実施の形態に係る面発光型半導体レーザを模式的に示す断面図である。

【図 1 2】 本発明を適用した第 2 の実施の形態に係る面発光型半導体レーザを模式的に示す平面図である。

【図 1 3】 図 1 1 に示す第 2 ミラーを模式的に示す拡大断面図である。

【図 1 4】 本発明を適用した第 3 の実施の形態に係る面発光型半導体レーザを模式的に示す断面図である。

【図 1 5】 本発明を適用した第 3 の実施の形態に係る面発光型半導体レーザを模式的に示す平面図である。

【図 1 6】 本発明を適用した第 4 の実施の形態に係る光モジュールを模式的に示す図である。

【図 1 7】 本発明を適用した第 5 の実施の形態に係る光伝達装置を示す図である。

【図 1 8】 本発明を適用した第 5 の実施の形態に係る光伝達装置の使用形態を示す図である。

【図 1 9】 本発明を適用した第 5 の実施の形態に係る光伝達装置の使用形態を示す図である。

【図 2 0】 本発明を適用した第 6 の実施の形態に係る光伝達装置を示す図である。

【図 2 1】 本実験例において、第 2 ミラー 1 0 4 を構成する第 1 および第 2 領域 1 9 1, 1 9 2 反射率を示す図である。

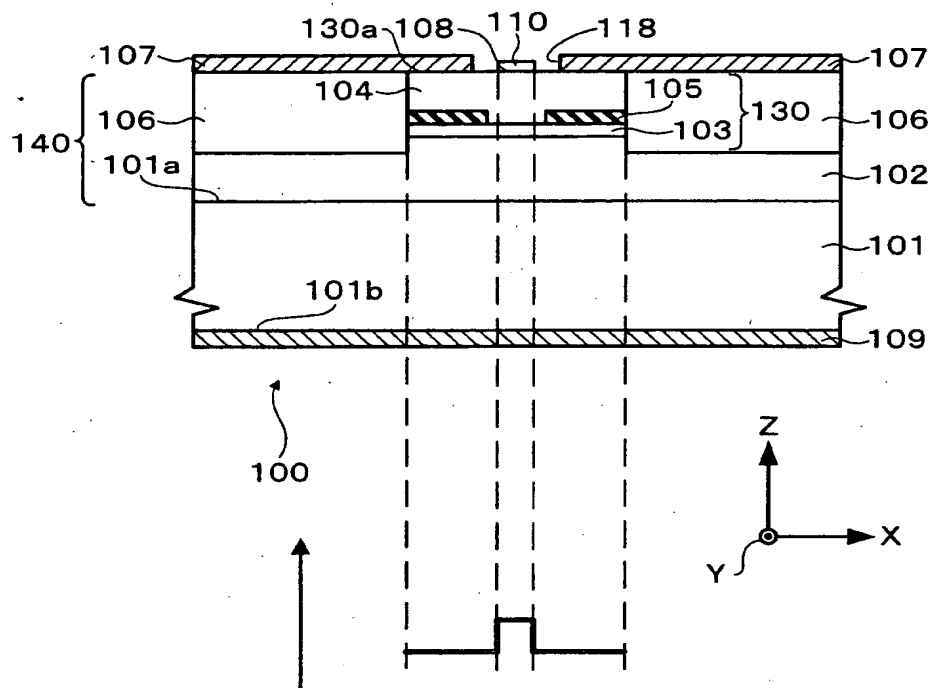
【符号の説明】

1 0 0, 2 0 0, 3 0 0 面発光型半導体レーザ、 1 0 1 化合物半導体基板、 1 0 1 a 半導体基板の表面、 1 0 1 b 半導体基板の裏面、 1 0 2 第 1 ミラー、 1 0 3 活性層、 1 0 4 第 2 ミラー、 1 0 5 酸化狭窄

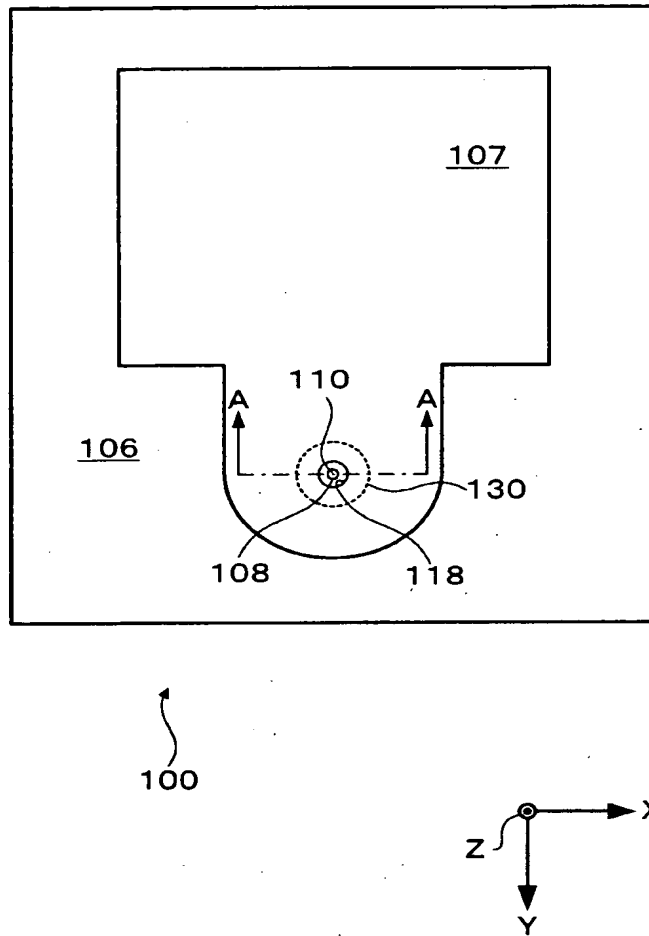
層、 106 絶縁層、 107 第1電極、 108 出射面、 109, 119 第2電極、 110, 210 反射率調整層、 110a 液滴、 110b 前駆体、 112 ノズル、 113 エネルギー線、 118 開口部、 120 インクジェットヘッド、 130 柱状部、 130a 柱状部の上面、 140 共振器、 150 半導体多層膜、 191, 291 第1領域、 192, 292 第2領域、 218 開口部、 220 受光素子、 1000 構造体、 1100, 1110 光伝達装置、 1110, 1112 電子機器、 1104 ケーブル、 1106 プラグ、 1114 駆動用IC、 1120, 1220 プラットフォーム、 1130 第1の光導波路、 1150 アクチュエータ、 1152 クッション、 1154 エネルギー供給源、 1230, 1310, 1312 第3の光導波路、 1302, 1318 第2の光導波路、 1304 接続用光導波路、 1306 樹脂、 1308 基板、 1314, 1316 基板、 2000 光インターコネクション装置、 R100, R200 レジスト層

【書類名】 図面

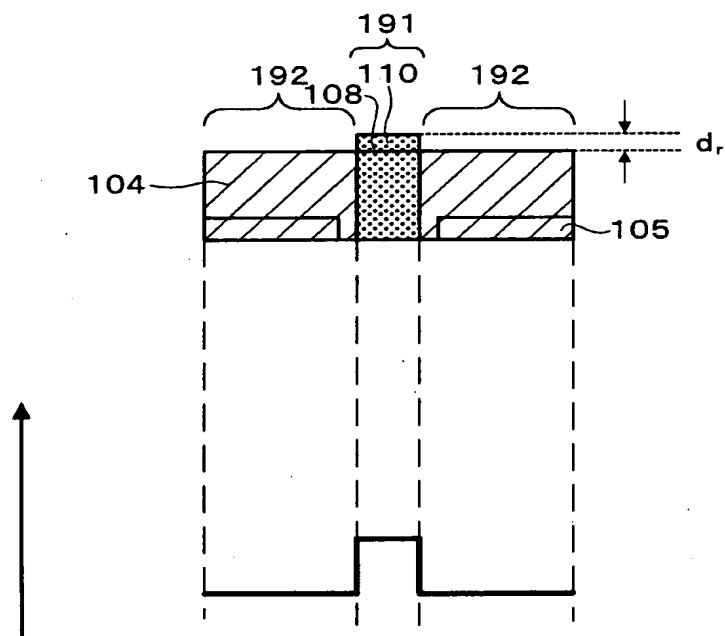
【図 1】



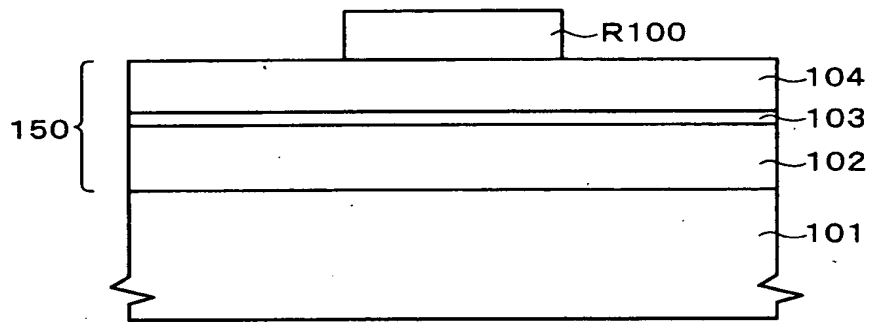
【図2】



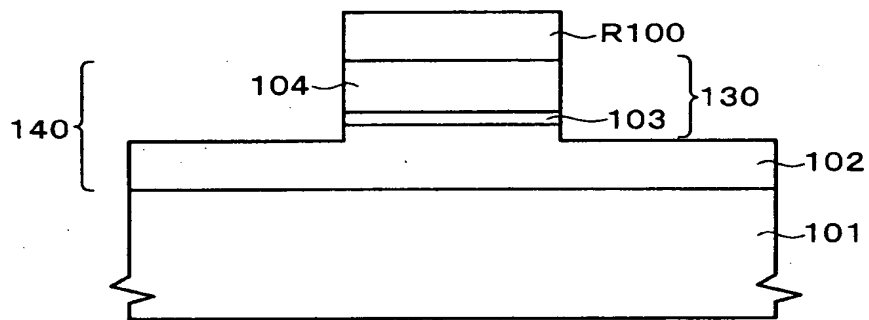
【図3】



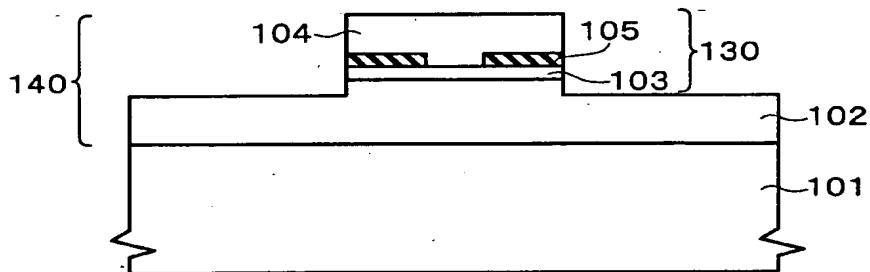
【図4】



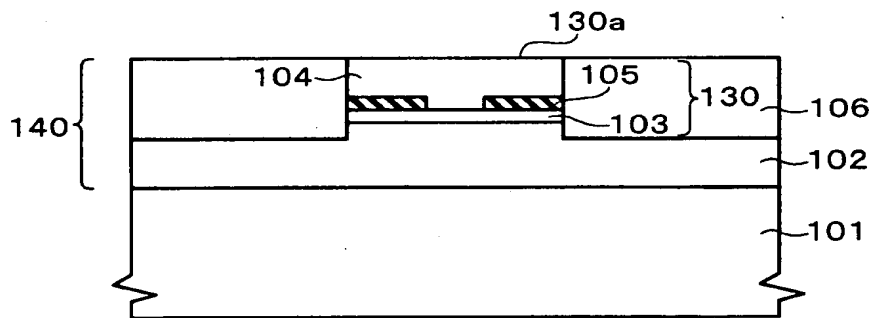
【図5】



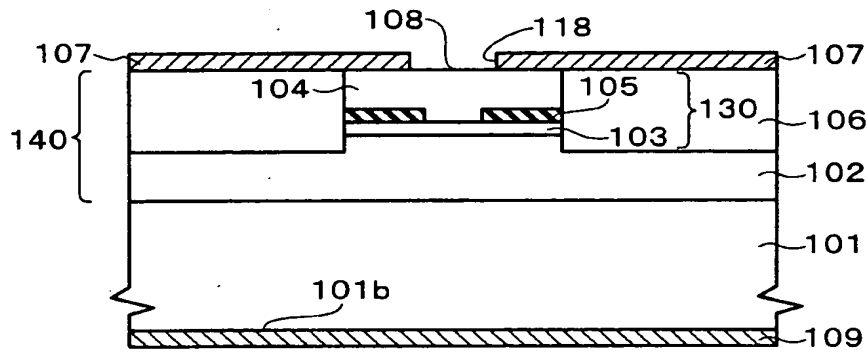
【図6】



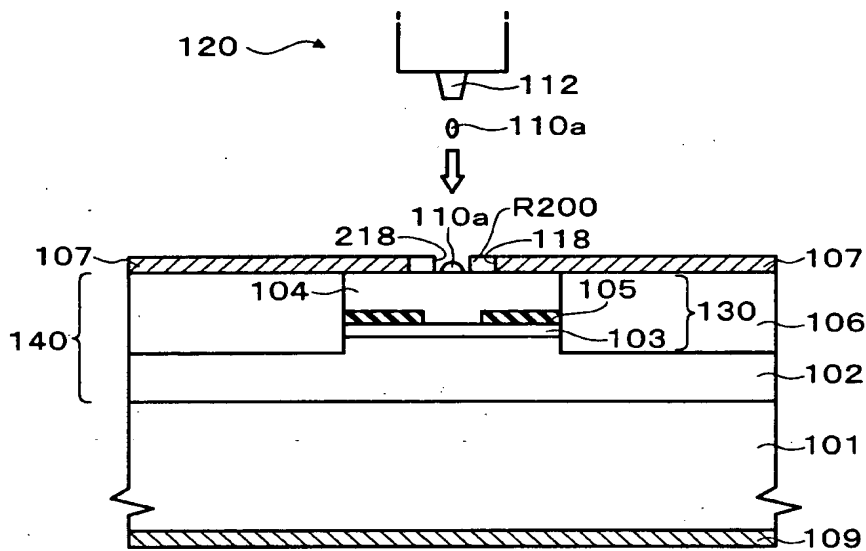
【図7】



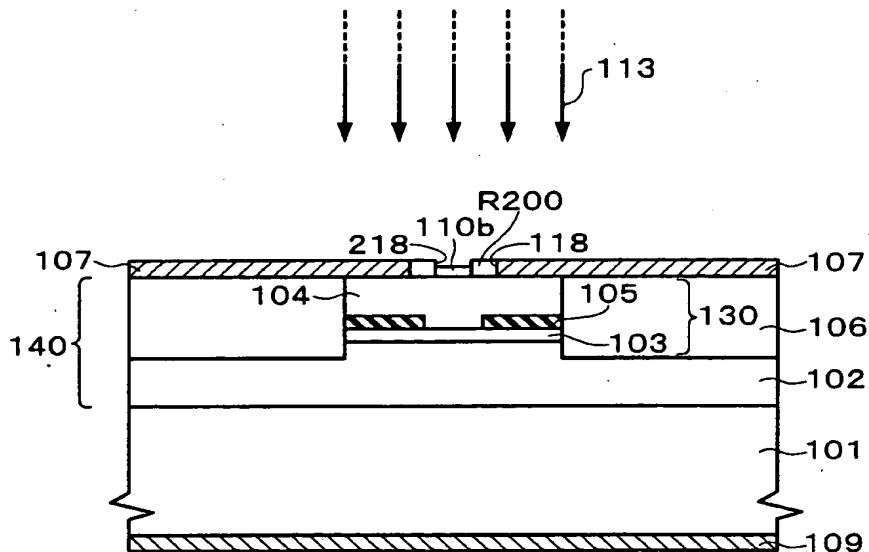
【図8】



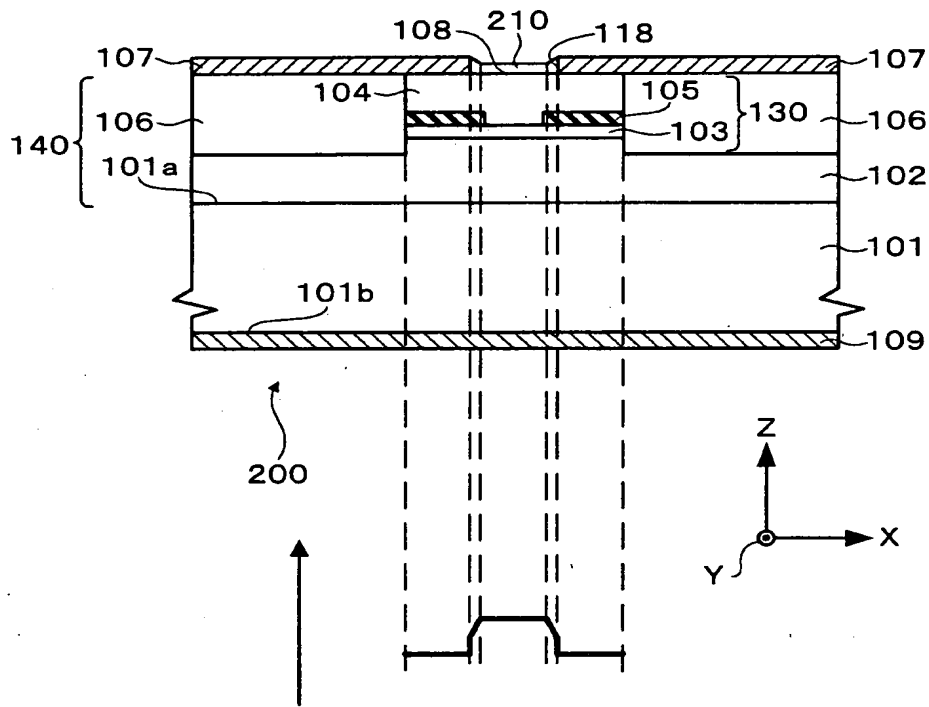
【図9】



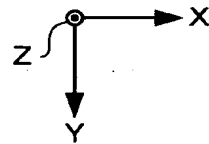
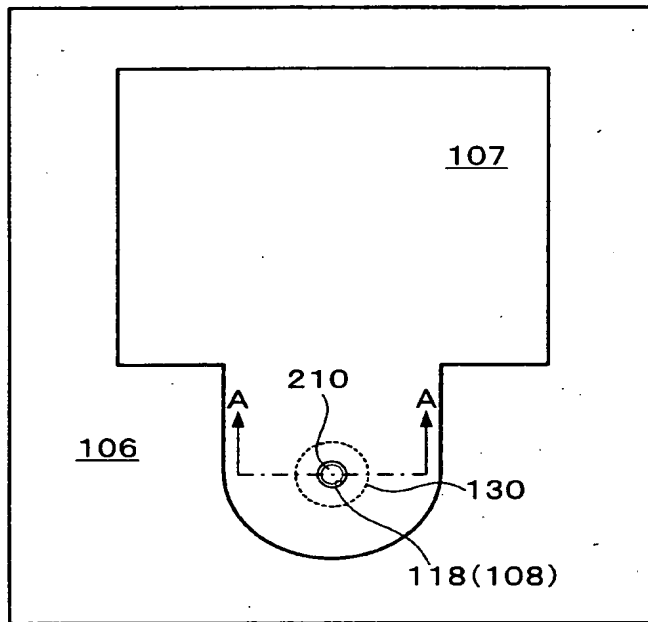
【図10】



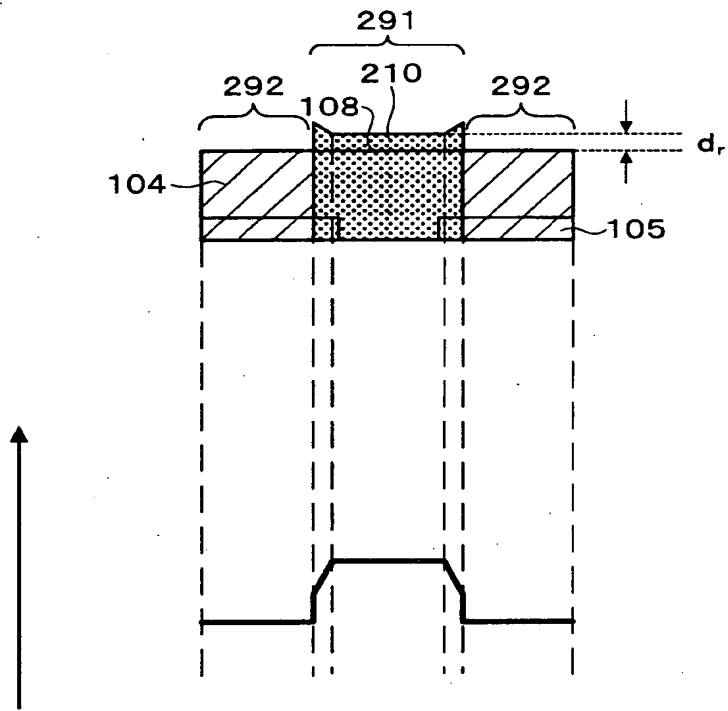
【図 11】



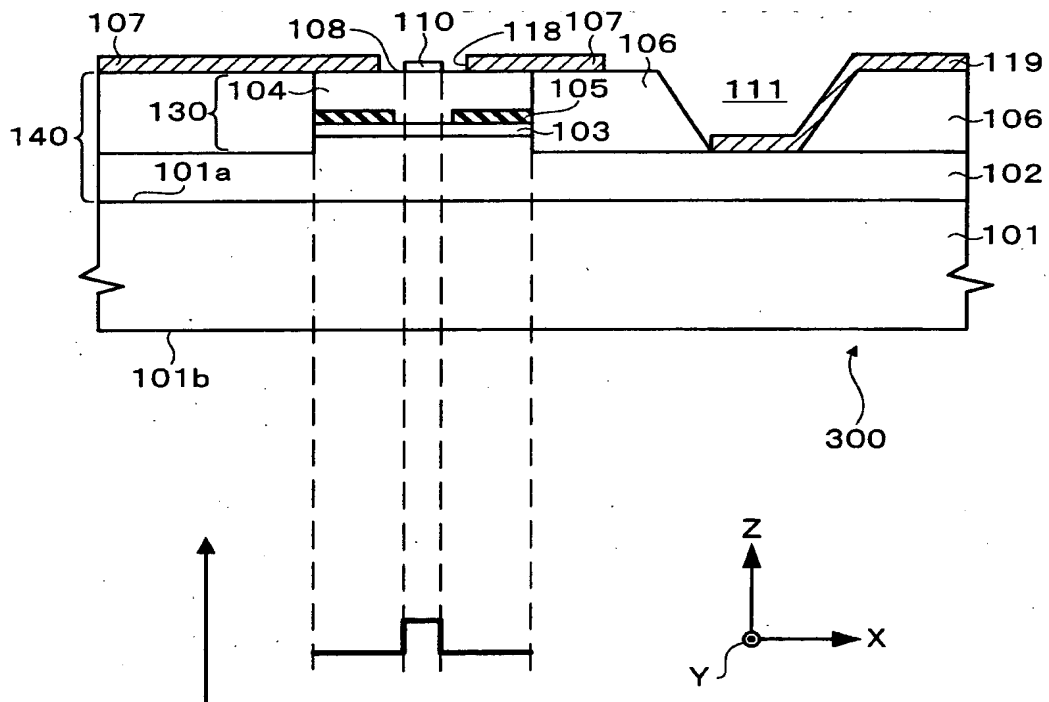
【図 1 2】



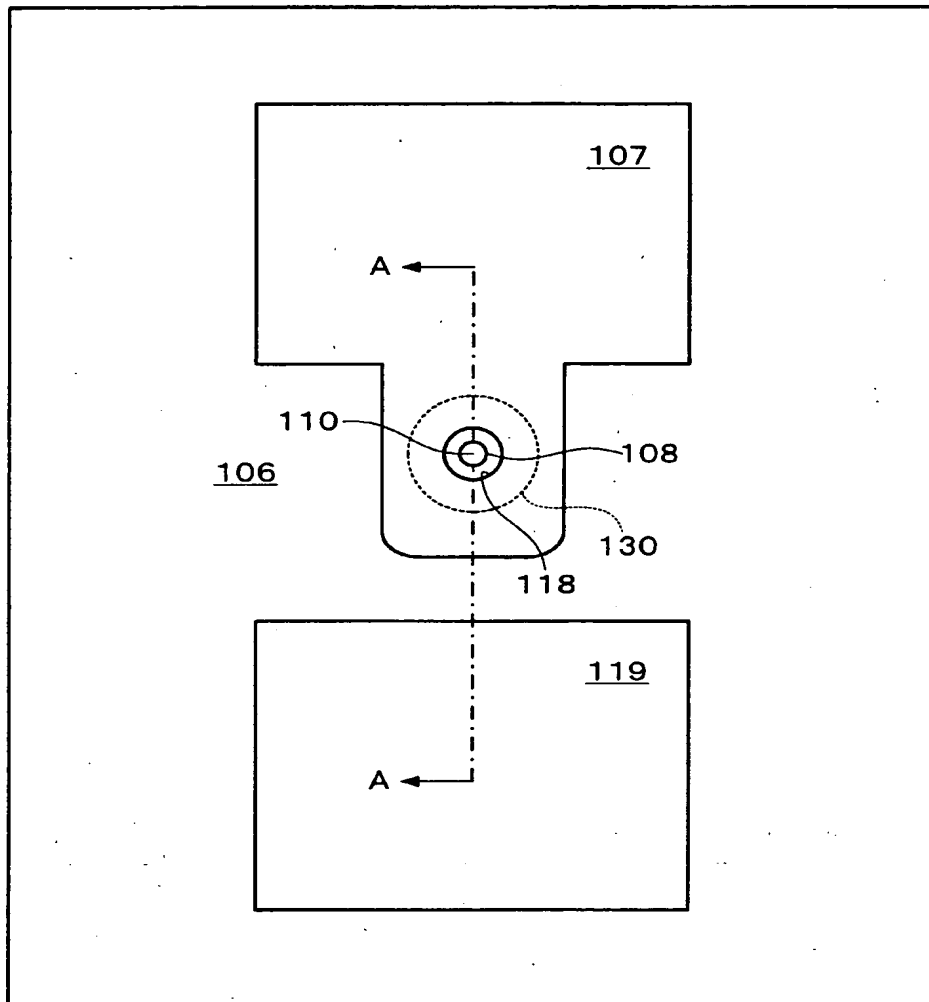
【図 13】



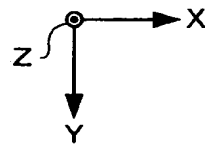
【図 14】



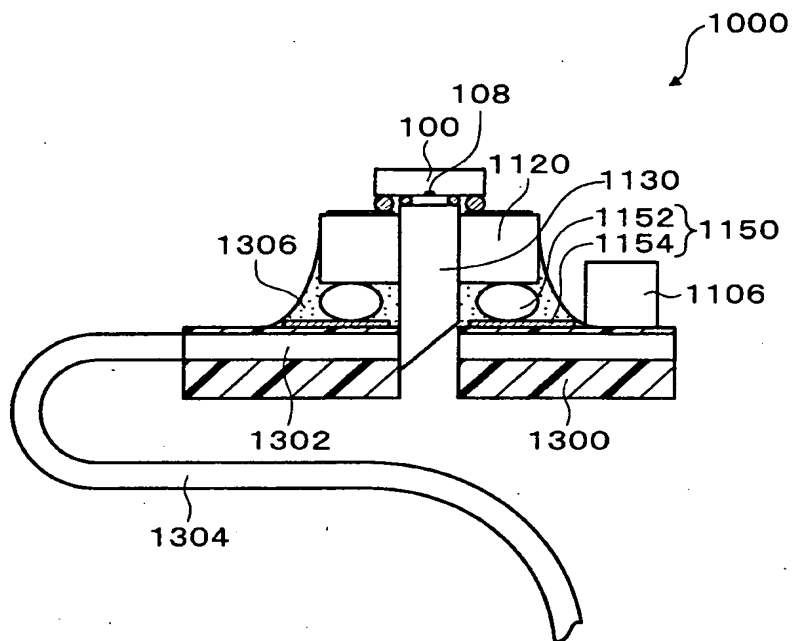
【図 15】



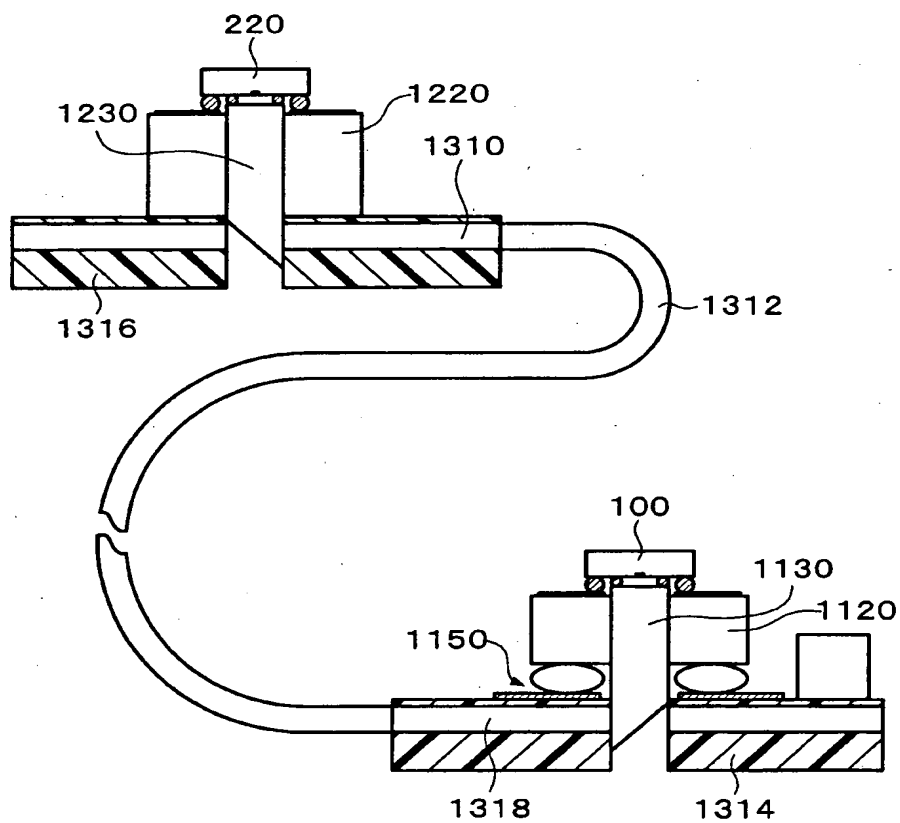
300



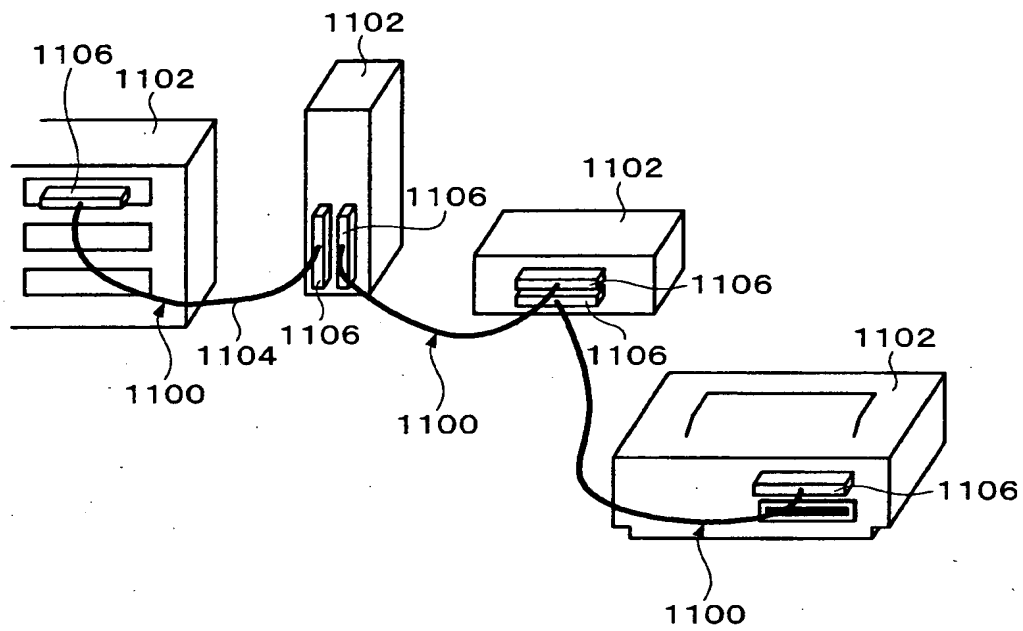
【図 16】



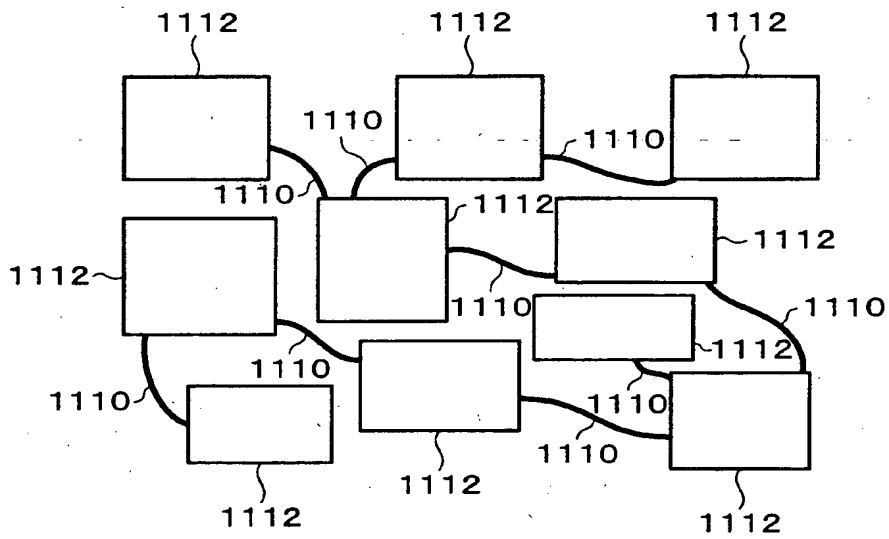
【図 17】



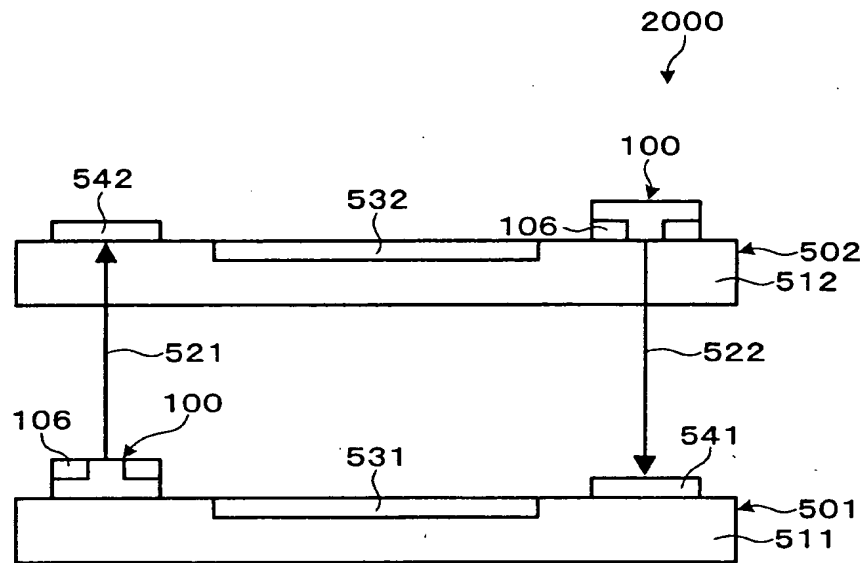
【図18】



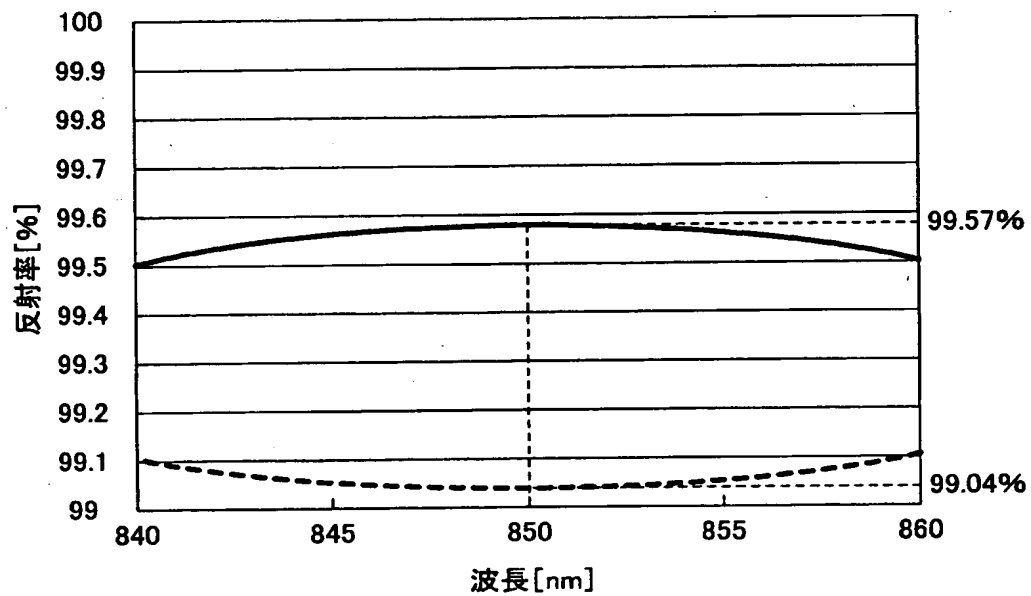
【図19】



【図 20】



【図 21】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 横モードの安定した制御が可能な面発光型半導体レーザおよびその製造方法、ならびに該面発光型半導体レーザを含む光モジュールおよび光伝達装置を提供する。

【解決手段】 本発明の面発光レーザ 1 0 0 は、基板 1 0 1 上に形成された共振器 1 4 0 を含み、共振器 1 4 0 の上面に設けられた出射面 1 0 8 から基板 1 0 1 と垂直方向にレーザ光を出射できる。この面発光レーザ 1 0 0 は、共振器 1 4 0 に電流を注入するための第 1 および第 2 電極 1 0 7, 1 0 9 を含む。第 1 電極 1 0 7 は、少なくとも一部が共振器 1 4 0 の上面に形成され、かつ、共振器 1 4 0 の上面に開口部 1 1 8 を有する。開口部 1 1 8 内には出射面 1 0 8 が設けられている。出射面 1 0 8 の上には反射率調整層 1 1 0 が形成されている。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002369]

1. 変更年月日	1990年 8月20日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
氏 名	セイコーエプソン株式会社